

# “La modelación numérica en las aguas subterráneas: una potente e imprescindible herramienta de análisis”

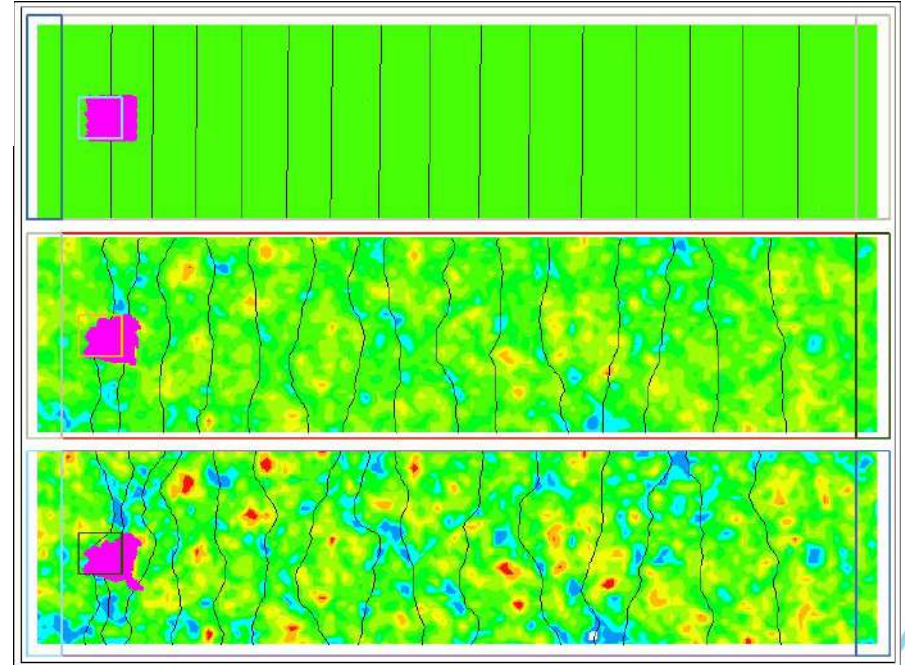
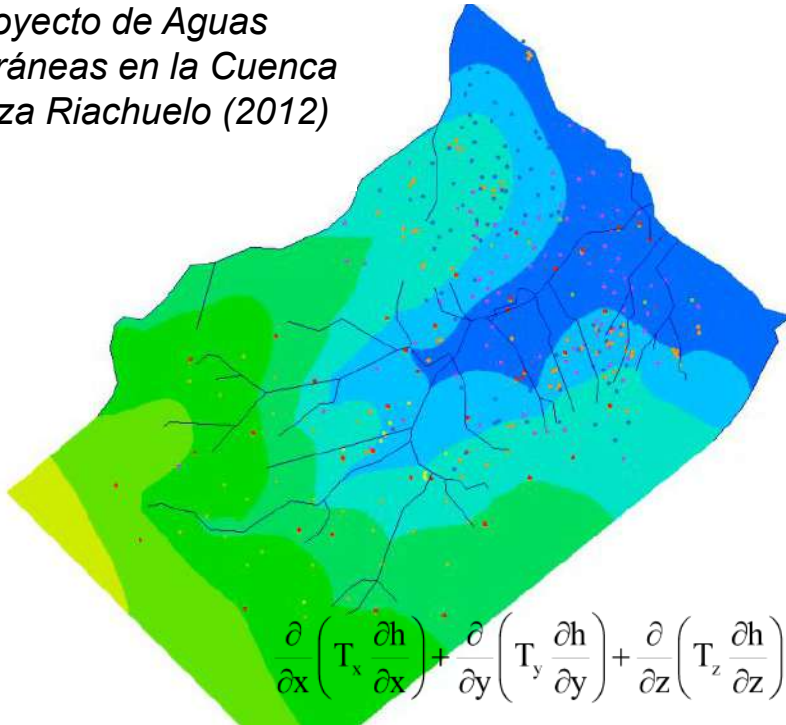
*Luis Sebastián Vives*

*Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo Jorge Usunoff"  
Universidad del Centro de la Provincia de Buenos Aires UNCPBA  
Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires CICPBA  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas CONICET*

# ¿Que es un modelo numérico?

Un modelo es una herramienta diseñada para representar una versión simplificada de la realidad mediante ecuaciones matemáticas..

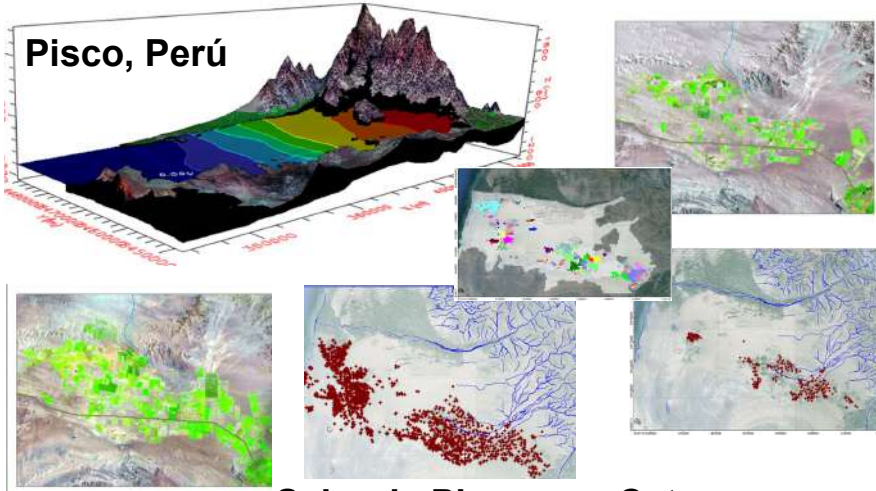
*Proyecto de Aguas  
Subterráneas en la Cuenca  
de Matanza Riachuelo (2012)*



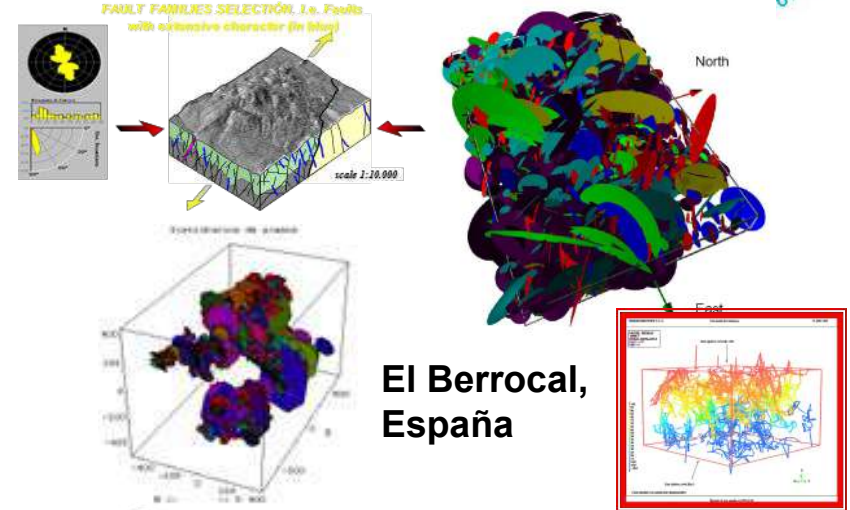
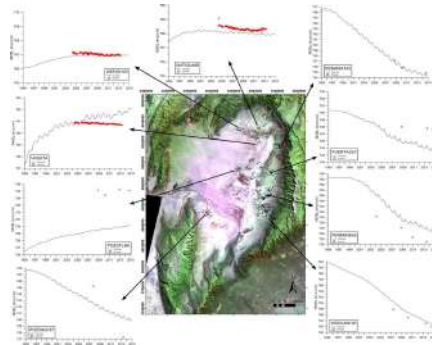
$$\frac{\partial}{\partial x} \left( T_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( T_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( T_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) - Q = S \frac{\partial h}{\partial t}$$

$$-\nabla(\phi \underline{vc}) + \nabla \cdot (\phi \underline{\underline{D}} \cdot \nabla c) + rc = \frac{\partial \phi c}{\partial t}$$

# Algunas aplicaciones de modelos numéricos

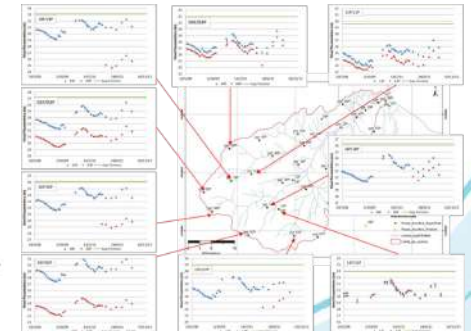
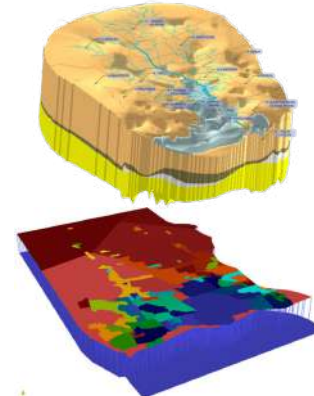


**Salar de Pipanaco, Catamarca**



**El Berrocal, España**

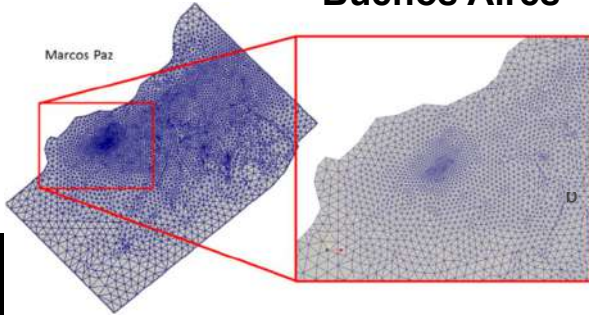
**ACUMAR, Buenos Aires**



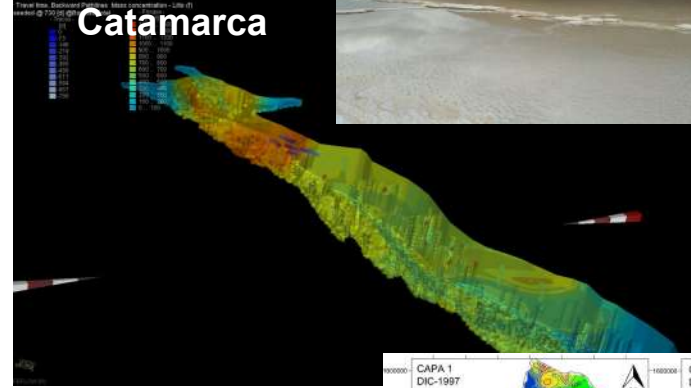


**HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN FUTURA DEL AGUA**

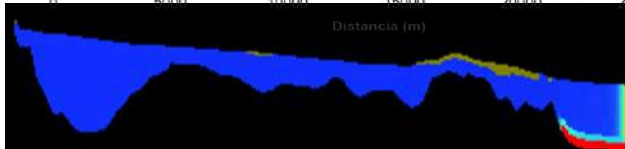
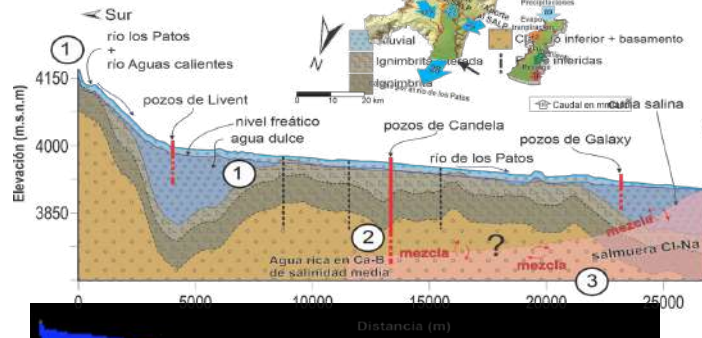
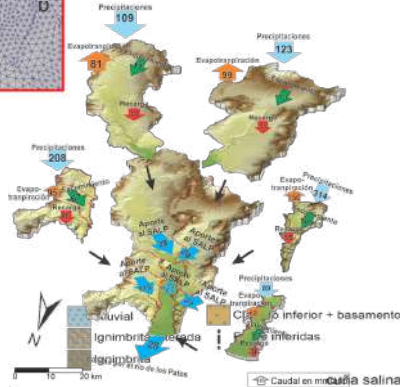
**ACUMAR, Buenos Aires**



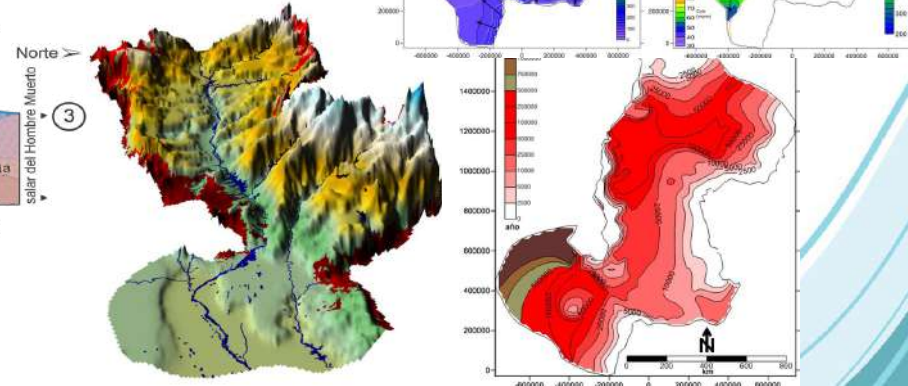
**Salar Tres Quebradas Catamarca**



**Aluvial Los Patos, Catamarca**

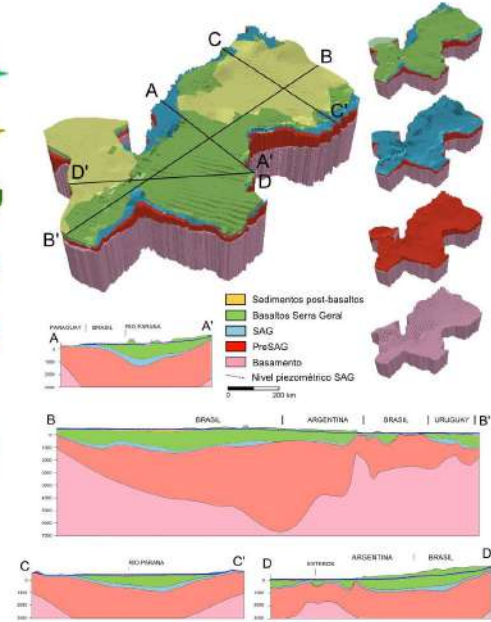
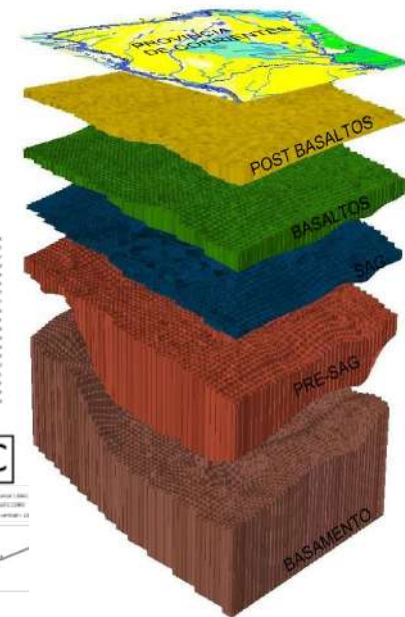
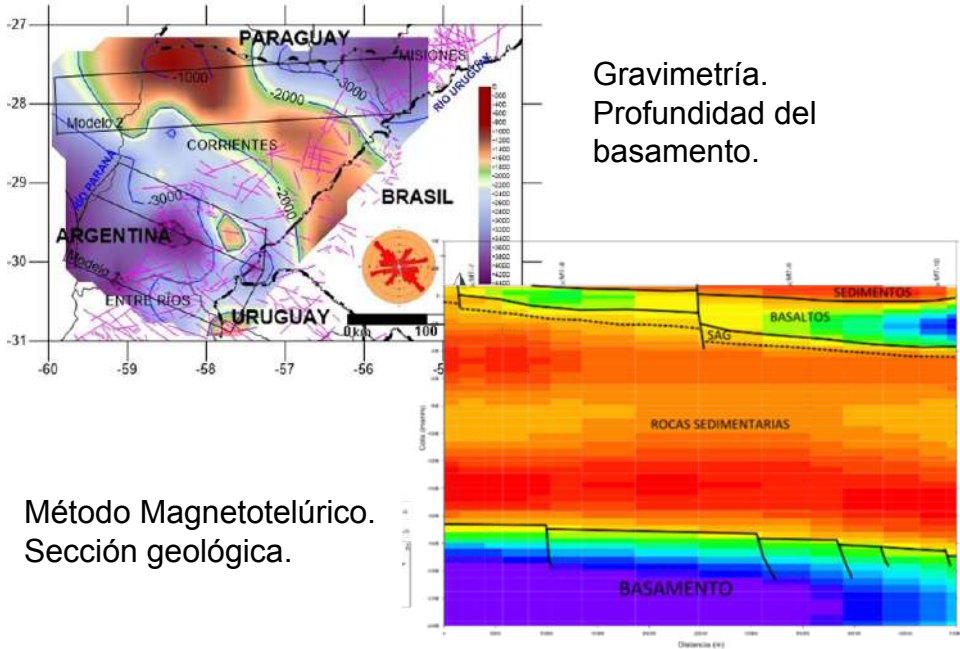


**Sistema Acuífero Guaraní**



# ¿Para que sirven los modelos numéricos?

- Conocer y validar el funcionamiento de un acuífero.
- Hacer predicciones del comportamiento a diferentes escenarios (sustentabilidad de explotación, contaminación, remediación, cambio climático....).



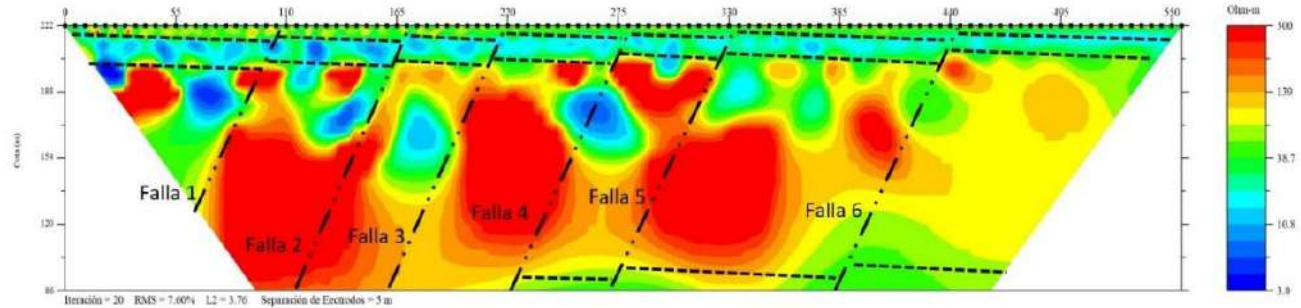
Método Magnetotelúrico.  
Sección geológica.



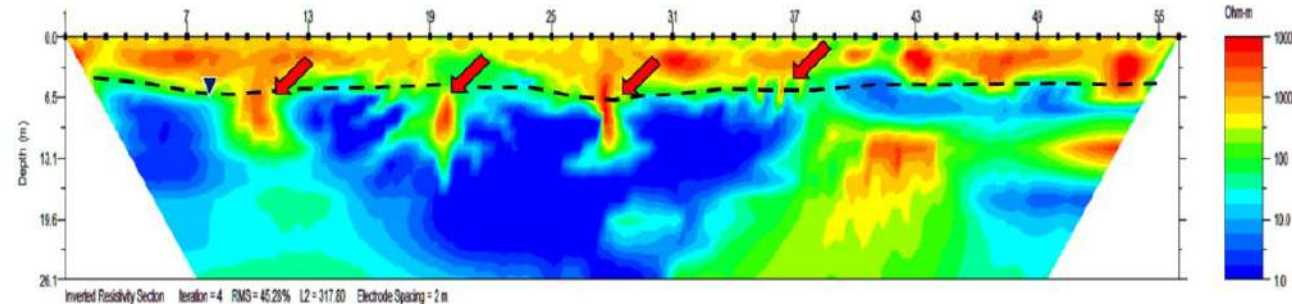
# Tomografías de Resistividad Eléctrica

Transectas de hasta 550 m de largo y 120 m de profundidad  
Posibilidad de hacer tomografías en pozos

## Disposición de los bloques en una cantera de caliza.



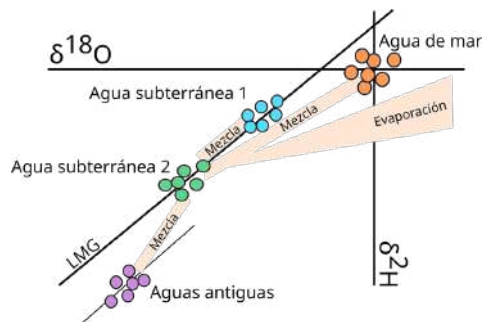
## Detección de pérdidas en oleoducto



# Técnicas isotópicas ambientales

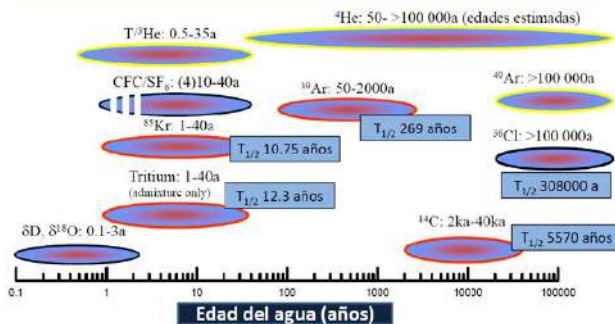
## Isótopos estables

( $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$ )

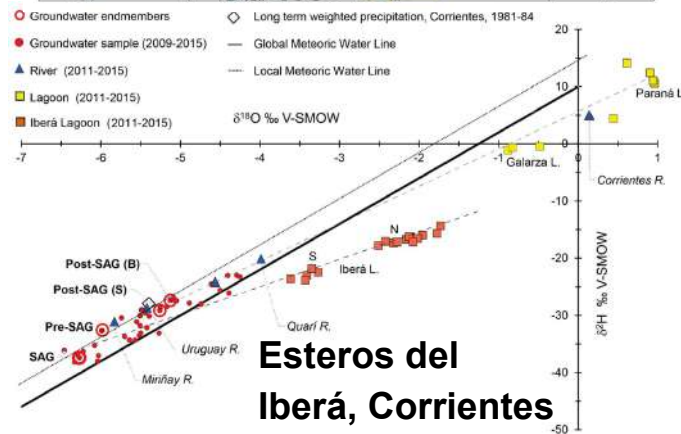
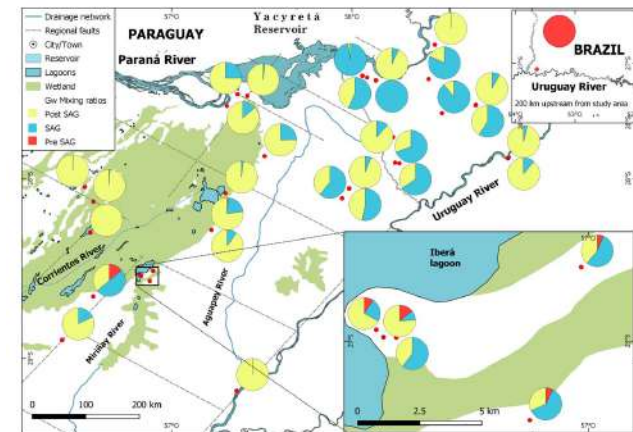


## Isótopos radiactivos, gases nobles y antropogénicos ( $^3\text{H}$ ; CFC's, SF $_6$ )

Rango aproximado (en años) de datación de diferentes trazadores incorporados al agua subterránea



## Proporciones de Mezcla



**Esteros del  
Iberá, Corrientes**

## ¿Para qué sirven?

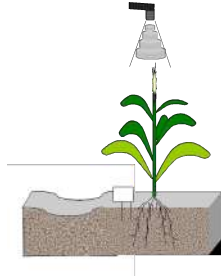
- Altura ó área de recarga
- Origen del agua
- Origen de la salinidad
- Tasas de evaporación
- Interacción agua superficial – subterránea

## ¿Para que sirven?

- Datación del agua subterránea
- Tiempos de residencia del agua en el acuífero
- Tasas de recarga
- Velocidad de movimiento del agua y de los contaminantes
- Estimar proporciones de mezclas
- Calibración de modelos numéricos



## Balance de Energía

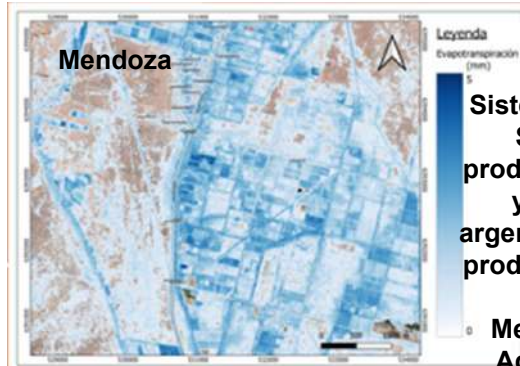


## Sensores Remotos



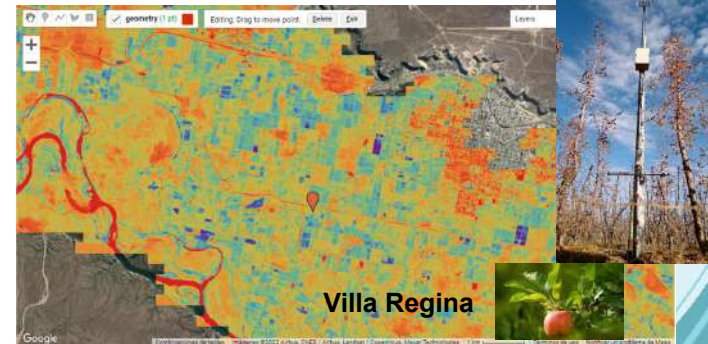
## Mapas regionales y parcelarios de flujo de calor latente, radiación neta y estrés

La evapotranspiración que demanda la atmósfera es un indicador de la necesidad de riego



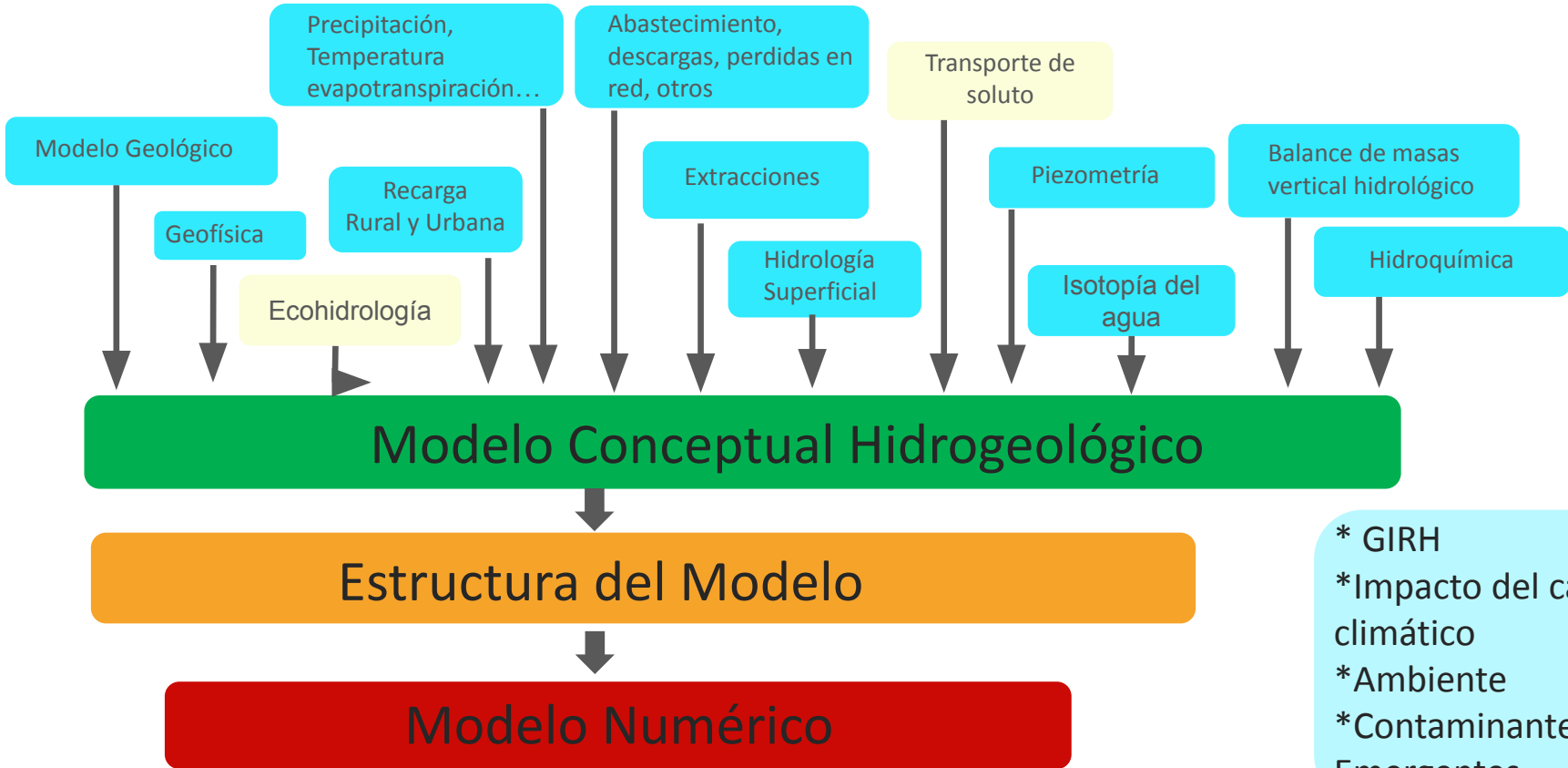
Sistema Integral de Soporte a la producción frutícola y vitivinícola argentina, basada en productos de origen espacial

- Mesa: Servicios Agroclimáticos





# Integración de la información



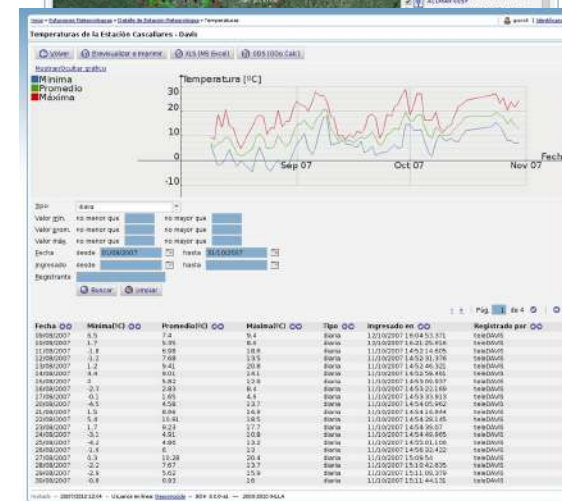
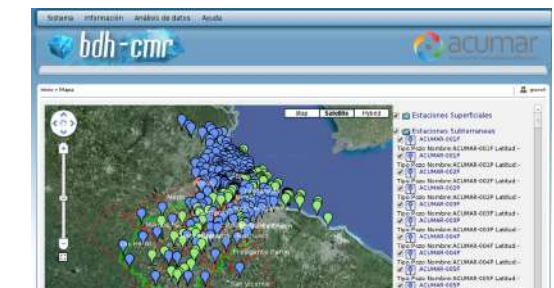
- \* GIRH
- \* Impacto del cambio climático
- \* Ambiente
- \* Contaminantes Emergentes

# Información requerida y disponibilidad

BDH

Base de Datos Hídricos

DATOS		Estructura	Tipología del sistema	Parámetros estructurales	Condiciones en los límites	Estado e históricas
Topografía	Cartografía	MUY ÚTIL			MUY ÚTIL	
Hidrografía	Cartograf/registros	IMPRESC.			IMPRESC.	
Geología	Cartografía	IMPRESC.	ÚTIL		MUY ÚTIL	
	Sondeos	MUY ÚTIL	MUY ÚTIL	ÚTIL		
	Geofísica	MUY ÚTIL	ÚTIL	ÚTIL		
Hidrodinámica	Ens. de bombeo		MUY ÚTIL	IMPRESC.		
	Mapa piezométrico		IMPRESC.	ÚTIL	IMPRESC.	IMPRESC.
	Series piezométricas		ÚTIL	MUY ÚTIL		IMPRESC.
Hidroquímica	Ens. de campo	ÚTIL	IMPRESC.	IMPRESC.	MUY ÚTIL	MUY ÚTIL
	Ens. de laboratorio	ÚTIL	ÚTIL	IMPRESC.		
	Muestreo de campo				IMPRESC.	IMPRESC.
Isótopos	Ens. de campo			IMPRESC.	MUY ÚTIL	MUY ÚTIL
	Mediciones campo		ÚTIL		MUY ÚTIL	IMPRESC.
Climatología	Series de precipit				IMPRESC.	
	Series de temperat.				MUY ÚTIL	
Hidrología (ríos, manan)	Límnimetros				IMPRESC.	
	Hidrometría				MUY ÚTIL	IMPRESC.
Datos de situaciones establecidas	Bombeos / Inyecciones			ÚTIL	IMPRESC.	
	Infiltración/retornos		ÚTIL	ÚTIL	IMPRESC.	
	Caudales entrada					
	Potenciales impuestos		MUY ÚTIL	ÚTIL	IMPRESC.	



La BDH es un Sistema web o App para el registro, gestión, consulta y análisis de información hidrológica y meteorológica



# *¿Por qué le debemos un mayor y continuo estudio de los acuíferos?*

Asociemos a un modelo numérico a un sistema de contabilidad (de agua, de sales,...) de las masas de agua.

Una empresa bien gestionada necesita una contabilidad fiable para identificar problemas (suministros para la producción, personal), establecer relaciones causa-efecto (ventas, nuevos productos) y evaluar qué puede pasar en el futuro (Mercado).

Entonces, asumamos que construir y mantener modelos es difícil, lleva tiempo y fundamentalmente requiere mucha y/o nueva información.

***¿es necesario conocer mejor el sistema?***

***¿es conveniente trabajar con esta herramienta?***

# Sistema Acuífero Guaraní SAG

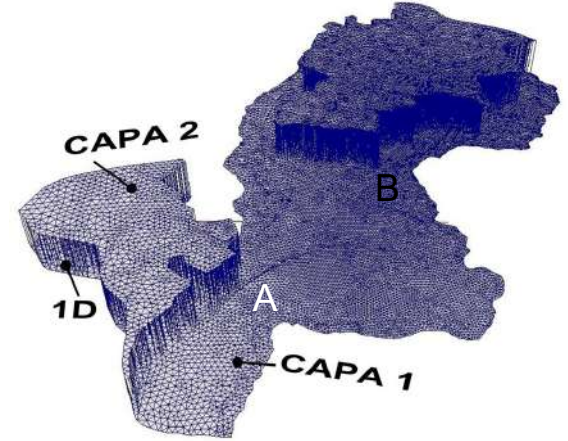


Sabemos que la recarga de agua del SAG es baja, aproximadamente  $9.77 \text{ hm}^3/\text{d} = 113 \text{ m}^3/\text{s}$ .

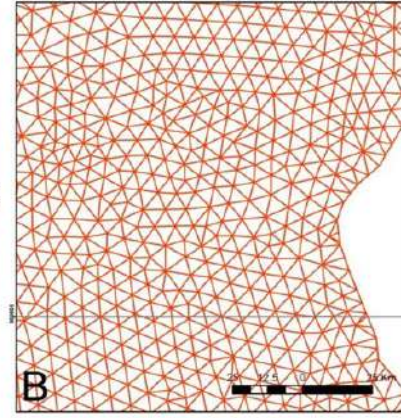
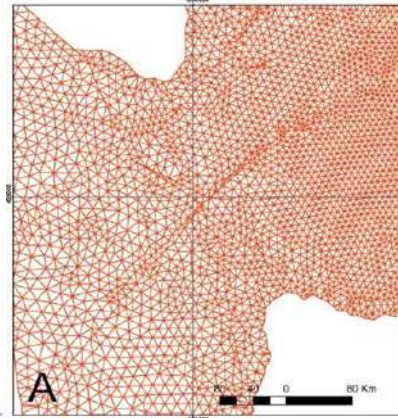
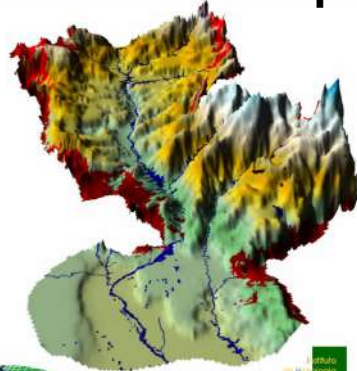
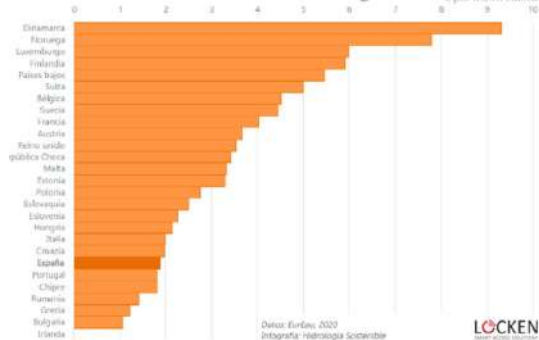
El consumo de agua por habitante es de 300 litros diarios y se abastece del SAG 9 millones de hab. por día.

Si asumimos que  $1 \text{ m}^3$  de agua para uso doméstico tiene un costo promedio de 2 euros (España).

El negocio potencial sería aproximadamente de **5.4 millones de euros por día!!!!!!**



Precio medio doméstico del agua





IV CONGRESO INTERNACIONAL  
**AGUA**  
PARA EL FUTURO

# ¡Gracias!

*Luis Sebastián Vives*



*Instituto de Hidrología de Llanuras "Dr. Eduardo Jorge Usunoff"*

<https://ihlla.conicet.gov.ar/>



**IRRIGACIÓN**  
Agua que da vida



**MENDOZA**  
GOBIERNO